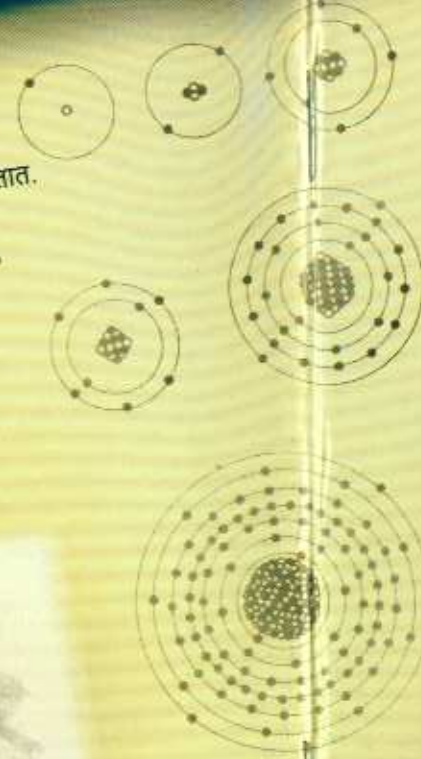




मनोपिकास प्रकाशन

अणूच्या गाभ्यातील ऊजेचे गूढ शास्त्रज्ञांनी  
टप्प्याटप्प्याने कसे उकलले त्याची विस्मयजनक  
कहाणी आयझॅक आसिमॉव्ह सोप्या शब्दांत सांगतात.  
आन्त्वान बेकरेल, मारी व पियेर क्युरी,  
अर्नेस्ट रदरफोर्ड, अर्नेस्ट लॉरेन्स, लिझ माइटनर,  
एन्रिको फर्मी व रॉबर्ट ओपेनहायमर  
यांसारख्या जगद्विख्यात शास्त्रज्ञांनी  
शतकाहून अधिक काळ कठोर परिश्रमाने  
या रहस्याचा पाठपुरावा केल्यानेच  
हा ऊर्जास्रोत उपलब्ध झाला.  
आसिमॉव्ह आपल्या सहज शैलीत  
हा कठीण विषय विशद करतात.



# शोधांच्या कथा अणुशक्ती आयझॅक आसिमॉव्ह



अनुवाद-सुजाता गोडबोले

शोधंच्या कथा

अणुशक्ती

आयझॅक आसिमॉव्ह  
अनुवाद: सुजाता गोडबोले



मनोविकास प्रकाशन

शोधांच्या कथा  
अणुशक्ती  
Shodhanchya katha  
Anushakti

प्रकाशक  
अरविंद घनश्याम पाटकर,  
मनोविकास प्रकाशन,  
फ्लॅट नं. ३ ए,  
३ रा मजला, शक्ती टॉवर,  
६७२ नारायण पेठ,  
पुणे - ४११०३०  
पुणे फोन : ०२०- ६५२६२९५०  
मुंबई फोन : ०२२-६४५०३२५३  
E-mail-manovikaspublication@gmail.com

© हक्क सुरक्षित

मुखपृष्ठ  
गिरीश सहस्रबुद्धे

प्रथम आवृत्ती  
२८ फेब्रुवारी २००८

अक्षरजुळणी  
सौ. भाग्यश्री सहस्रबुद्धे, पुणे.

मुद्रक  
श्री बालाजी एंटरप्राईझेस, पुणे

मूल्य  
रुपये ३५

अनुक्रमणिका

- १ | इलेक्ट्रॉन्स-४
- २ | अणूचा  
गाभा-१६
- ३ | अणू  
ऊर्जा-२८
- ४ | अणूच्या गाभ्यातील  
प्रक्रिया-३५
- ५ | अणुभट्ट्या-४७

## १ | इलेक्ट्रॉन्स

एकोणिसाव्या शतकात, कोणत्याही पदार्थाचा सर्वात लहान भाग म्हणजे 'अणू' असेच शास्त्रज्ञांना वाटत असे. सर्वोत्कृष्ट सूक्ष्मदर्शक यंत्रातूनही तो दिसू शकत नसे इतका तो सूक्ष्म होता.

निरनिराळ्या प्रकारचे शंभराहून अधिक अणू आहेत. प्रत्येक प्रकारच्या अणूंच्या, तशाच प्रकारच्या इतर अणूंशी झालेल्या एकत्रीकरणातून मूलद्रव्ये (एलेमेंट) बनतात. लोखंड हे लोखंडाच्या अणूंपासून बनते, गंधकाच्या अणूंचे गंधक बनते, प्राणवायू (ऑक्सिजन) हा प्राणवायूच्या अणूंपासून तयार होतो वगैरे वगैरे... लोखंड, गंधक आणि प्राणवायू ही सर्व मूलद्रव्ये आहेत.

मात्र वीज हा काही या दृष्टीने पदार्थ आहे असे म्हणता येणार नाही. अनेक घन आणि द्रवपदार्थातून विजेचे वहन होते. ती तारांमधून जाते आणि त्याने तारांतून प्रकाश पडतो. तिच्यामुळे घंत्रे फिरतात वगैरे. वीज अणूंपासून बनत नसल्याने ती कशापासून तयार होत असेल याचा शास्त्रज्ञ विचार करू लागले.

ज्या तारातून ती वाहते त्यातून जर ती बाहेर काढता आली, तर तिचा अभ्यास अधिक सहजपणे करता येईल. विजेचा प्रवाह काही वेळा हवेत चमकणाऱ्या ठिणगीच्या स्वरूपात दिसून येतो. पण अशा ठिणग्या अधिक काळ टिकून राहत नाहीत म्हणून त्यांचा अभ्यास करणे कठीणच होते. शिवाय, अशी विजेची ठिणगी हवेतील इतर अणूंमध्ये मिसळलेली असते त्यामुळे आणखीच गोंधळ निर्माण होतो.

विजेचा प्रवाह एखाद्या निर्वात पोकळीतून जात आहे अशी कल्पना

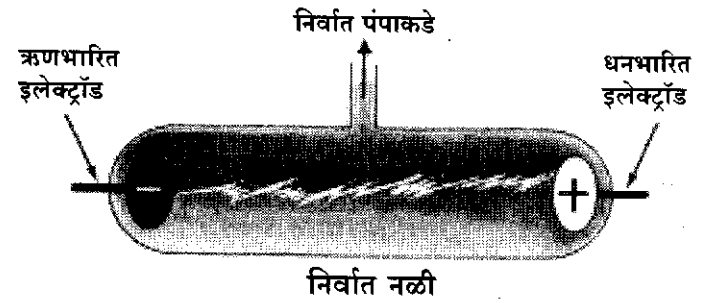
करा. निर्वात पोकळी म्हणजे अशी जागा की ज्यात काहीच, म्हणजे हवादेखील, नाही.

यासाठी एखाद्या नळीतून प्रथम सर्व हवा पंपाने बाहेर काढून घ्यावी लागेल. या नळीच्या आत दोन वेगळ्या ठिकाणी धातूच्या दोन पट्ट्या असाव्या लागतील म्हणजे विजेचा प्रवाह एका पट्टीकडून दुसऱ्या पट्टीकडे पाठवता येईल.

१८५५ साली, म्हणजे शंभराहून अधिक वर्षांपूर्वी, हैनरिक जिस्टर (Heinrich Geissler) या जर्मन संशोधक शास्त्रज्ञाने अशा प्रकारच्या पहिल्या निर्वात नळ्या तयार केल्या. मग शास्त्रज्ञांना निर्वात पोकळीतून जाणाऱ्या विजेच्या प्रवाहाचा अभ्यास करणे शक्य झाले. सरळ रेषेत जाणारे काही तरी यातून निर्माण होते असे त्यांना आढळले, म्हणून त्याला 'किरण' किंवा 'किरणोत्सर्ग' (रेडिएशन) असे नाव देण्यात आले.

यातून सूक्ष्म असा प्रकाश दिसत असल्याने किरणोत्सर्ग असल्याचे समजून येत होते. जिथे हे किरण काचेच्या नळीवर आदळत तिथल्या काचेतून अधिक प्रकाश पडे.

१८७६ साली युजेन गोल्डस्टाइन या शास्त्रज्ञाने असे दाखवून दिले की या किरणोत्सर्गाची सुरुवात 'कॅथोड' नावाच्या पट्टीपासून म्हणजे



ऋण टोकापासून होते, याच कारणाने या किरणोत्सर्गाला त्याने 'कॅथोड किरण' असे नाव दिले.

कॅथोड किरण म्हणजेही एक प्रकारचा प्रकाशच आहे असे काही लोकांना वाटले. प्रकाश हा विशिष्ट लांबीच्या सूक्ष्म लहरींनी तयार होतो. कदाचित कॅथोड किरण त्याच प्रकारच्या सूक्ष्म लहरींनी बनत असतील, पण त्यांची लांबी कदाचित थोडीशी निराळी असेल.

या निर्वात पोकळीजवळ जर एखादे लोहचुंबक आणले तर या कॅथोड किरणांचा मार्ग वक्र होत असे. हा काही प्रकाशकिरणांचा गुणधर्म नाही. लोहचुंबक असो अथवा नसो, प्रकाश नेहमीच सरळ रेषेत जातो.

जॉ बासिस्त पेरॅ या फ्रेंच शास्त्रज्ञाने १८९५ साली असे दाखवून दिले की कॅथोड किरणात विद्युतभार असतो. त्यामुळे त्यांचा मार्ग वक्र होतो - लोहचुंबक विद्युत भार खेचू शकते.

पदार्थाच्या कणात विद्युतभार असू शकतो, पण प्रकाशकिरणात तो नसतो. त्यामुळे कॅथोड किरण हे विद्युतभार असणाऱ्या पदार्थाच्या सूक्ष्म कणांनी बनले असावेत असे पेरॅला वाटले.

१८९७ साली जोसेफ जॉन थॉमसन या इंग्रज शास्त्रज्ञाने कॅथोड किरणांच्या वक्र मार्गाचा अभ्यास केला. चुंबकातील आकर्षणाचे प्रमाण आणि किरणांच्या मार्गाची वक्रता यावरून या कणांचा प्रत्यक्ष आकार केवढा असेल ते तो गणिताच्या सहाय्याने शोधून काढू शकला. कॅथोड किरणातील कण हे अणूपेक्षाही लहान आहेत असा त्याचा आश्चर्यकारक शोध होता. या कणाचा आकार सर्वात सूक्ष्म अणूच्या तुलनेत  $1/1800$  इतका लहान होता.

कॅथोड किरणातील कण अणूपेक्षा सूक्ष्म असल्याने तो सर्वात प्रथम शोधण्यात आलेला परमाणू (सब-ॲटॉमिक पार्टिकल) होते. विद्युत

जोसेफ जॉन थॉमसन



प्रवाहात त्याचा शोध लागल्याने थॉमसनने त्याला 'इलेक्ट्रॉन' असे नाव दिले.

शास्त्रज्ञांना आता दोन निरनिराळ्या वर्गातील कण माहीत आहेत. ज्यापासून वस्तू/पदार्थ बनतो ते सूक्ष्म कण म्हणजे अणू आणि त्याहूनही लहान असणाऱ्या ज्या कणांनी वीज बनते ते म्हणजे 'इलेक्ट्रॉन'. या दोघांचा एकमेकांशी काही संबंध असेल का?

कॅथोड किरणांशी संबंधित अशा इतर प्रयोगांतून याचे उत्तर निष्पन्न झाले. १८९५ साली विल्हेम कॉन्स्टॅंट रॉन्टजेन या जर्मन शास्त्रज्ञाला असे आढळले की कॅथोड किरण पदार्थावर आदळले की त्यातून एक नव्या प्रकारचा किरणोत्सर्ग निर्माण होतो. या किरणोत्सर्गाने काही रसायने चमकू लागत, तर फोटो काढण्याची प्लेट याने काळी होत असे. रसायन अथवा फोटोची चौकट जरी पुढा किंवा लाकडांमागे ठेवली असली तरीही हाच परिणाम होत असे. याचा अर्थ, हा किरणोत्सर्ग घन पदार्थाच्याही आरपार जाऊ शके.

हा कशा तऱ्हेचा किरणोत्सर्ग आहे हे माहीत नसल्याने रॉन्टजेनने त्याला 'क्ष-किरण' असे नाव दिले. कोणत्याही माहीत नसणाऱ्या गोष्टीसाठी गणितात नेहमीच 'क्ष' हे अक्षर वापरले जाते. क्ष-किरण हे प्रकाश लहरींप्रमाणेच असतात पण या लहरींची लांबी बरीच कमी असते हे कालांतराने समजून आले.

रॉन्टजेनने एकदा आपला शोध प्रसिद्ध केल्यावर इतर शास्त्रज्ञांनी आणखी कुठे क्ष-किरण मिळतात का हे शोधण्यास सुरुवात केली.

आन्त्वान हेन्री बेकरेल हा फ्रेंच शास्त्रज्ञ युरेनियम नावाच्या एका मूलतत्त्वाचे अणू असणाऱ्या एका रासायनिक संयुगावर प्रयोग करत होता. सूर्यप्रकाशात हे संयुग चमकत असे, म्हणून यात क्ष-किरण असावेत अशी बेकरेलला शंका आली.

बेकरेलने हे संयुग सूर्यप्रकाशात ठेवले. त्यानंतर त्याने ते काळ्या रंगाच्या कागदात गुंडाळले आणि अंधारात फोटोच्या प्लेटजवळ ठेवले. यातून निघणारा उजेड जर नेहमीचा साधा प्रकाश असेल, तर तो काळ्या कागदातून बाहेर जाणार नाही आणि फोटोची प्लेट आहे तशीच राहिल. पण जर का यात क्ष-किरण असतील, तर ते कागदातून आरपार जातील आणि फोटोची प्लेट धुतल्यावर काळी झालेली दिसेल.



विल्हेम कॉन्स्टॅंट रॉन्टजेन

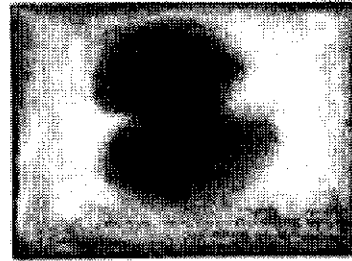
ती प्लेट काळी झालेली होती, म्हणून या प्रकाशात क्ष-किरण आहेत असे बेकरेलला वाटले. याची खात्री करून घेण्यासाठी त्याला हे सर्व परत करून पाहायचे होते. पण त्यानंतरचा दिवस ढगाळ होता आणि त्यानंतरचे बरेच दिवस आकाश अभ्राच्छादितच राहिले. बेकरेल हे संयुग काळ्या कागदात गुंडाळून एका नव्या फोटो प्लेटपाशी ठेवून सूर्यप्रकाशाची वाट पाहत होता.

अखेर कंटाळून, पूर्वी एक दिवस मिळालेल्या सूर्यप्रकाशाने आलेली चमक थोडीतरी टिकून राहिली आहे का हे पाहण्यासाठी त्याने फोटोची

### बेकरेलचा प्रयोग



युरेनियम स्फटिक  
काळा कागद  
फोटोची प्लेट



फोटोच्या प्लेटवर  
दिसणारा किरणोत्सर्ग

### मारी क्युरी



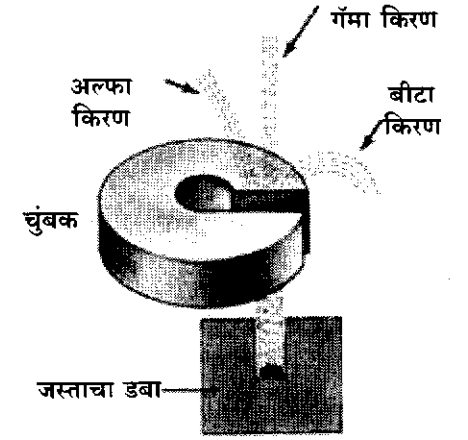
प्लेट धुतली. ती प्लेट बरीच काळी झाली आहे असे त्याच्या लक्षात आले. सूर्यप्रकाशात न ठेवतादेखील या संयुगातून किरण बाहेर पडत होते. खरे तर या संयुगातून कायमच किरणोत्सर्ग बाहेर पडत होता असे नंतरच्या प्रयोगातून दिसून आले.

मारी स्कलोडोव्स्का क्युरी या पोलिश - फ्रेंच शास्त्रज्ञाने १८९८ साली असे दाखवून दिले की या संयुगातील युरेनियमच्या अणूतून किरणोत्सर्ग बाहेर पडत होता. युरेनियमला मारी क्युरीने 'किरणोत्सर्गी पदार्थ' (रेडिओअॅक्टिव्ह सबस्टन्स) असे नाव दिले. थोरियम नावाच्या आणखी एका मूलद्रव्याचे अणूदेखील किरणोत्सर्गी असतात असेही तिने दाखवून दिले.

युरेनियम व थोरियममधून तीन प्रकारचे किरण बाहेर पडतात असे नंतर समजून आले. चुंबक जवळ ठेवला असता काही किरण एका दिशेने थोडेसे वक्र होत. दुसऱ्या प्रकारचे किरण उलट दिशेने पण बऱ्याच अधिक प्रमाणात वक्र होत आणि तिसऱ्या प्रकारचे किरण, चुंबकाचा त्यांच्यावर काहीही प्रभाव न पडता थेट सरळ रेषेत जात.

अर्नेस्ट रदरफोर्ड या न्यूझीलंडच्या शास्त्रज्ञाने या तीन प्रकारच्या किरणांना ग्रीक- मधील पहिल्या तीन अक्षरांची नावे दिली. थोड्याशाच वक्र होणाऱ्या किरणांना पहिल्या अक्षराचे 'अल्फा किरण' हे नाव मिळाले. जे अधिक वक्र झाले होते त्यांना दुसऱ्या अक्षराचे म्हणजे 'बीटा किरण' हे नाव, तर जे किरण अजिबात न वळता वा वाकता सरळ रेषेत गेले त्यांना तिसऱ्या अक्षराचे 'गॅमा किरण' हे नाव देण्यात आले.

गॅमा किरण अजिबात वळले नव्हते म्हणून ते प्रकाशकिरण आणि क्ष-किरणांप्रमाणे असावेत अशी शक्यता दिसत होती. आणि ते खरेच ठरले. गॅमा किरणांच्या लहरी क्ष- किरणांपेक्षाही आखूड, म्हणजे कमी लांबीच्या, असतात.



निरनिराळ्या प्रकारच्या किरणोत्सर्गावरील चुंबकाचा प्रभाव

चुंबकाजवळ ठेवले असता, बीटा किरण वक्र होत होते, याचा अर्थ त्यांच्यात विद्युत्भार असणारे 'बीटा कण' असले पाहिजेत. त्यांचा मार्ग इतका अधिक वक्र होत होता याचा अर्थ ते वजनाने अतिशय हलके असणार. बीटा कण खरोखरच वजनाने अतिशय हलके होते कारण ते 'इलेक्ट्रॉन' (ऋणभारित कण) होते, असे बेकरेलेने १९०० साली दाखवून दिले.

एका दृष्टीने हे एक कोडेच होते. 'इलेक्ट्रॉन'चा जेव्हा शोध लागला, तेव्हा ते विद्युत् प्रवाहाचे कण आहेत असे वाटले होते. आणि आता ते युरेनियम आणि थोरियमच्या अणूतून बाहेर पडत होते. पण या अणूंमध्ये तर विद्युत् प्रवाह नव्हता. मग तिथे 'इलेक्ट्रॉन' काय करत होते?

त्याकाळी माहीत असलेल्या अणूपैकी युरेनियम आणि थोरियमचे अणू सर्वाधिक जड होते. कदाचित वजनाने जड असणारे अणू काही विशेष प्रकारचे आणि इतरांहून निराळे असतील.



परंतु ते तसे काही फार वेगळे नसतात असे नंतर समजले.

१८९९ साली थॉमसन अतिनील (अल्ट्राव्हायोलेट) किरणांचा अभ्यास करत होता. नेहमीच्या प्रकाशापेक्षा याच्या लहरी थोड्याशा आखूड असतात. या अतिनील किरणांच्या लहरी काही धातूंच्या मूलद्रव्यावर पडल्या असता काय होते याचा तो अभ्यास करत होता.

ज्या प्रकाशलहरींची लांबी कमी असेल, त्यात अधिक ऊर्जा असते. अतिनील प्रकाशाच्या आखूड लहरी धातूंच्या पृष्ठभागावर, नेहमीच्या लांबीच्या प्रकाशलहरीपेक्षा अधिक जोराने आदळत.

धातूंच्या पृष्ठभागावर जेव्हा नेहमीचा प्रकाश पडतो, तेव्हा सहसा काहीच होत नाही. पण अतिनील प्रकाशलहरी इतक्या जोराने आदळत की धातूतून काहीतरी बाहेर पडे. धातूमधून 'इलेक्ट्रॉन' बाहेर पडत होते असा थॉमसनने शोध लावला. याला त्याने 'फोटोइलेक्ट्रिक इफेक्ट' असे नाव दिले, कारण 'फोटो' या ग्रीक शब्दाचा अर्थ आहे प्रकाश.

शास्त्रज्ञांनी जसजसा या फोटोइलेक्ट्रिक परिणामाचा अभ्यास केला, तसे पुरेशा जोरात आघात केला असता, कोणत्याही पदार्थातून 'इलेक्ट्रॉन' बाहेर पडतात असे त्यांना दिसून आले.

'इलेक्ट्रॉन' हे अणूमधूनच बाहेर येत असणारे, कारण सर्वच पदार्थ हे केवळ अणूंचेच बनलेले असतात. याचा अर्थ, अणू म्हणजे त्यात काहीही नसणारे, पदार्थाचे सर्वाधिक लहान कण आहेत, असे शास्त्रज्ञ आता म्हणू शकत नव्हते. त्यांच्यात 'इलेक्ट्रॉन' होते.

वास्तविक पाहता, अशाच तऱ्हेने विद्युतप्रवाह सुरू होत असणारे. कोणत्या तरी प्रकाराने 'इलेक्ट्रॉन' अणूंच्या बाहेर काढून पदार्थात त्यांचे वहन होणे जरूर असणारे. पदार्थ आणि विद्युत यांच्यातील हाच संबंध होता.

एकदा 'इलेक्ट्रॉन'चा शोध लागल्यावर अणू कसा दिसत असेल हे

थॉमसननेच सर्वप्रथम सांगण्याचा प्रयत्न केला. एखाद्या केकच्या तुकड्यावर बेदाणे बाहेरून लावलेले असावेत, त्याप्रमाणे छोट्या चेंडूसारख्या अणूला बाहेरच्या बाजूने 'इलेक्ट्रॉन' चिकटलेले असतील असे त्याचे मत होते.

हा विचार तसा वैशिष्ट्यपूर्ण होता, पण तो चुकीचा होता.



## २ | अणूचा गाभा

आपली कल्पना मांडताना, थॉमसनने अल्फा किरणांचा विचार केला नाही, ही त्याच्या सिद्धांतामधील एक चूक होती.

अल्फा किरणांचा मार्ग चुंबकाच्या अस्तित्वामुळे वक्र होत होता, याचाच अर्थ ते किरण विद्युतभार असणाऱ्या उडणाऱ्या कणांचे बनले असणार. पण या अल्फा कणांचा मार्ग अगदी थोडासाच वक्र होत होता. म्हणजे अल्फा कणातील विद्युतभार इलेक्ट्रॉनमधील विद्युतभारापेक्षा खूपच कमी होता, त्यामुळेच चुंबकाचे आकर्षणही कमी होते, असे तर नसेल?

नाही! काळजीपूर्वक अभ्यास केल्यावर असे दिसून आले की अल्फा कणात इलेक्ट्रॉनपेक्षा दुप्पट विद्युतभार होता, आणि तो विरुद्ध प्रकारचा होता, त्यामुळे त्यांची वक्रता इलेक्ट्रॉनच्या विरुद्ध बाजूला होती. इलेक्ट्रॉनमधील विद्युतभार ऋण असल्याचे मानले जाते आणि त्याचे आकारमान -१ मानतात. अल्फा कणातील विद्युतभार घन मानला जातो आणि तो इलेक्ट्रॉनच्या दुप्पट असतो म्हणून तो +२ या पद्धतीने लिहिला जातो.

जर अल्फा कणात इलेक्ट्रॉनमधील विद्युतभारापेक्षा अधिक क्षमतेचा विद्युतभार असतो, तर चुंबकाच्या आकर्षणाने तो इलेक्ट्रॉनपेक्षा अधिक वक्र का होत नाही? म्हणजे अल्फा कण इलेक्ट्रॉनपेक्षा अधिक जाडजूड आणि वजनदार असला पाहिजे. त्यामुळे त्याच्या सरळ मार्गातून त्याला खेचणे कठीण जात असणार. प्रत्यक्षात अल्फा कणाचे वस्तुमान (mass) इलेक्ट्रॉनच्या ७००० पट असते असे नंतरच्या संशोधनातून दिसून आले.

याचाच अर्थ, अल्फा कण हायड्रोजन या वजनाने सर्वात हलक्या अणूच्या ४ पट वजनदार असतो. त्याचे वजन जवळजवळ हेलियमच्या अणूएवढेच असते.

अल्फा कणाचे वस्तुमान जरी एखाद्या अणूएवढेच असले तरी त्याचा आकार मात्र अणूपेक्षा खूपच लहान असणार. कारण हे अल्फा कण इतर सामान्य पदार्थातून सहजपणे आरपार जात होते.

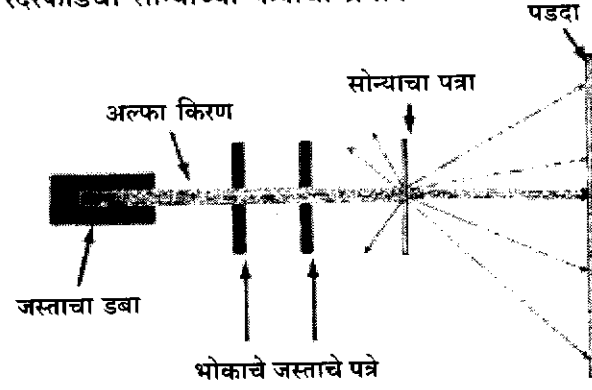
१९०६ साली, रदरफोर्डला बरेचसे अल्फा कण एका बंद डब्यात पकडण्यात यश मिळाले. काही वेळाने जेव्हा अधिकाधिक अल्फा कण पकडण्यात आले, तेव्हा त्यात हेलियम आहे असे रदरफोर्डच्या लक्षात आले. यात पूर्वी तर हेलियम मुळीच नव्हता.

काही कारणाने अल्फा कणांचे हेलियममध्ये रूपांतर झाले होते. आता ते परमाणू राहिले नव्हते; ते अणू बनले होते. परंतु त्यांचे वस्तुमान मात्र बदलले नव्हते. कदाचित त्यांच्यात इलेक्ट्रॉनची भर पडली असेल. इलेक्ट्रॉनचे वस्तुमान इतके कमी असते की त्यांच्यामुळे अणूच्या एकूण वस्तुमानात फारसा काहीच बदल होत नाही.

रदरफोर्डने त्यानंतर एका वेगळ्याच प्रयोगाला सुरुवात केली. किरणोत्सर्गी पदार्थातून बाहेर पडणारे अल्फा कण त्याने सोन्याच्या एका पातळ पत्र्यावर आदळू दिले. बहुतेक प्रत्येक वेळी हे अल्फा कण सहजपणे त्यातून आरपार निघून गेले. पलीकडे जाऊन ते फोटोच्या प्लेटवर आदळले आणि ती प्लेट काळी झाली. जर मध्ये पातळ पडद्याचा अडथळा नसता तर ते ज्या ठिकाणी आदळले असते, बरोबर त्याच ठिकाणी ते आताही आदळले.

मधूनच कधीतरी मात्र एखादा अल्फा कण सोन्याच्या पत्र्यातील कशावर तरी आदळून उसळत असे. मग त्यामुळे फोटोच्या प्लेटचा दूरचा एखादा कोपरा काळा होत असे.

## अर्नेस्ट रदरफोर्डचा सोन्याच्या पत्र्याचा प्रयोग



१९०९ सालाच्या सुमारास, अणूमधील बहुतेक सर्व जागा इलेक्ट्रॉनच्या ढगाने व्यापलेली असते असे रदरफोर्ड म्हणू शकला. ते इतके हलके होते की एखादा जाडजूड अल्फा कण त्यातून आपला मार्ग सहज काढू शकत असे.

अणूच्या केंद्रस्थानी एक छोटासा परंतू वजनदार गाभा (न्यूक्लियस) असतो. (न्यूक्लियस या शब्दाचे अनेकवचन इंग्रजीत 'न्यूक्ली' - nuclei - असे होते). तो इतका सूक्ष्म असतो आणि त्याने इतकी लहान जागा व्यापलेली असते की रदरफोर्डच्या प्रयोगातील अल्फा कणांमध्ये तो बहुधा सापडतच नसे. अधूनमधून कधी तरी अल्फा कण या भरभक्कम गाभ्यावर आदळून उसळत असे. अशा तऱ्हेची टक्कर इतकी क्वचित घडे की हा गाभा अतिशयच सूक्ष्म असला पाहिजे हे रदरफोर्डच्या लक्षात आले. एका अणूत एका शेजारी एक असे सुमारे १,००,००० गाभे सरळ ओळीत ठेवता येतील.

म्हणजे अल्फा कण हा हेलियमच्या अणूचा केवळ गाभा होता. त्याला जेव्हा आजूबाजूच्या वातावरणात इलेक्ट्रॉन मिळत तेव्हा त्याचा

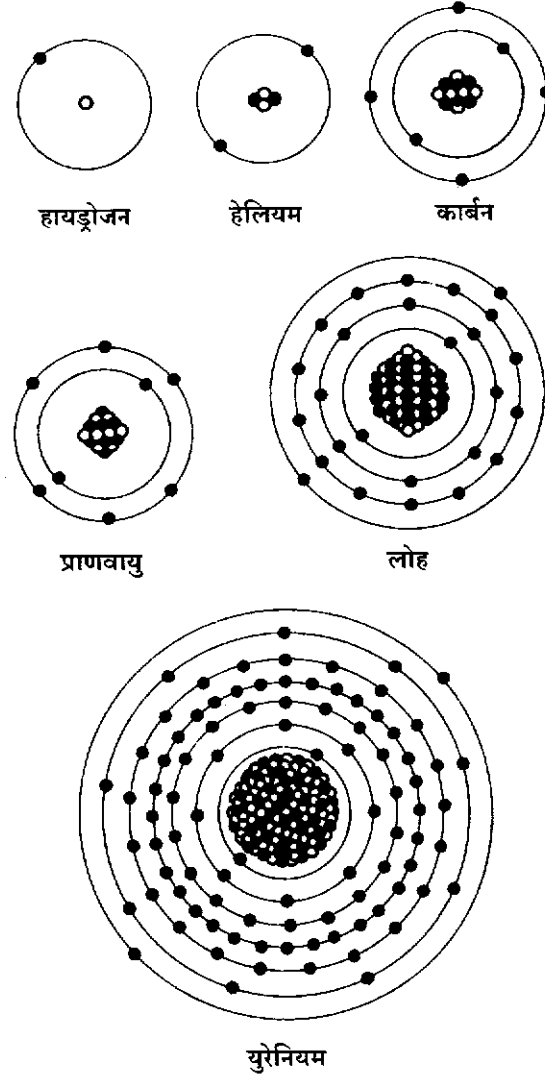
हेलियमचा नेहमीचा अणू तयार होई.

अणूच्या गाभ्यातील विद्युतभाराच्या प्रमाणामुळेच अणू निरनिराळ्या प्रकारचे असतात, हे हेन्री ग्वेन-जेफ्रीस मोझले या इंग्रज शास्त्रज्ञाने १९१४ साली सर्वप्रथम दाखवून दिले. उदाहरणार्थ, हायड्रोजनच्या अणूच्या गाभ्यात +१ इतका विद्युतभार असतो. हायड्रोजनच्या गाभ्याबाहेर -१ भाराचा एक इलेक्ट्रॉन असतो. हायड्रोजनचा गाभा आणि इलेक्ट्रॉन यातील विद्युतभार समपातळीत असल्याने या अणूत विद्युतभार नसतो.

त्याच प्रकारे हेलियमच्या अणूच्या गाभ्यात +२ असा भार असतो आणि त्याबाहेर दोन इलेक्ट्रॉन मधे मिळून -२ असा भार त्याचा समतोल राखतो. कार्बनच्या अणूच्या गाभ्यात +६ असा विद्युतभार असून -६ अशा भाराचे सहा इलेक्ट्रॉन त्याचा समतोल राखतात. प्राणवायूच्या अणूच्या गाभ्यात +८ असा भार असतो तर त्याच्या बाहेर -८ असा भार असतो. लोखंडाच्या अणूच्या गाभ्यातील भार असतो +२६ आणि त्याबाहेरच्या इलेक्ट्रॉनमधील भार असतो -२६. युरेनियमच्या अणूच्या गाभातील भार +९२ असून त्याबाहेरील इलेक्ट्रॉनमधील भार असतो -९२.

अणूच्या गाभ्यातील भाराचे जे प्रमाण असेल तोच त्या मूलद्रव्याच्या 'अणूचा क्रमांक' (अॅटॉमिक नंबर) मानला जातो. अशा प्रकारे हायड्रोजनच्या अणूचा क्रमांक आहे १, हेलियमच्या अणूचा क्रमांक आहे २, कार्बनच्या अणूचा क्रमांक ६, प्राणवायूचा क्रमांक ८, लोखंडाचा क्रमांक २६, तर युरेनियमचा ९२ वगैरे वगैरे... शास्त्रज्ञांना आता १०५ निरनिराळी मूलद्रव्ये माहीत आहेत आणि त्यांचे क्रमांक ओळीने १ पासून १०५ पर्यंत आहेत. यात कुठलाही क्रमांक मध्येच सुटलेला नाही.

१९१४ च्या सुमारास, प्रत्येक अणूत एक सूक्ष्म गाभा असतो आणि त्याच्या भोवती इलेक्ट्रॉनचा एक ढग असतो हे स्पष्ट झाले होते.



अणूचा गाभा इतका सूक्ष्म असतो तर मग तो एकच कण असेल का?

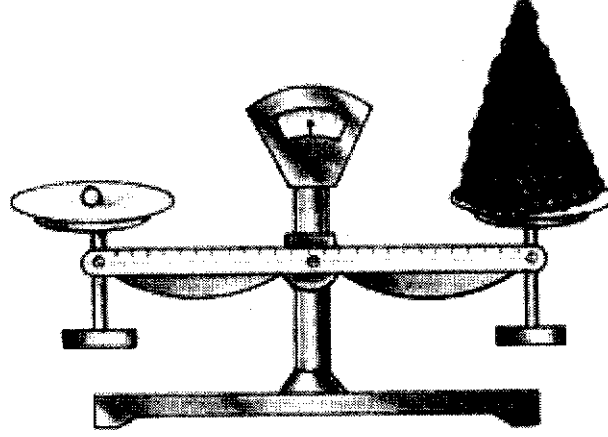
तसे वाटत नव्हते. युरेनियमच्या अणूच्या गाभ्यातून अल्फा कण बाहेर पडतो आणि तो हेलियमचा गाभा असतो. इतर अणूंच्या गाभ्यातूनही असे लहान तुकडे बाहेर पडू शकतील. त्यावरून अणूचा गाभा हा लहान लहान कणांचा बनलेला असावा असे समजण्यास वाव होता.

हायड्रोजनच्या अणूचा गाभा सर्वात लहान असतो आणि त्यात +१ एवढा विद्युतभार असतो आणि त्याचा आकारही एका इलेक्ट्रॉनएवढाच असतो. याहूनही कमी भार असणे शक्य नाही, असे रदरफोर्डने १९१४ साली ठरवले. हायड्रोजनच्या गाभ्याला त्याने 'प्रोटॉन' असे नाव दिले, या ग्रीक शब्दाचा अर्थ आहे 'पहिला'.

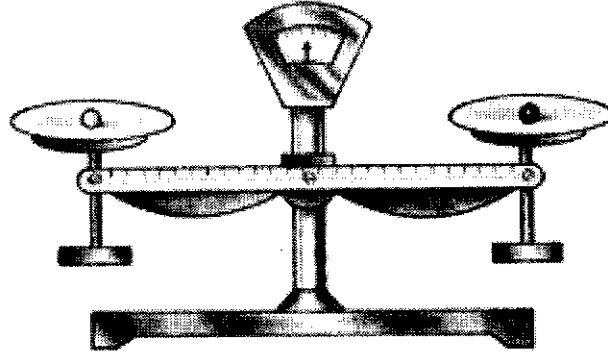
अणूच्या बहुतेक सर्व गाभ्यात प्रोटॉन्स असावेत आणि प्रत्येक घन भाराबरोबर एकेक प्रोटॉन असावा असे वाटणे साहजिक होते. अशा तऱ्हेने हेलियमच्या गाभ्यात दोन प्रोटॉन असतील; प्राणवायूच्या गाभ्यात आठ; तर लोखंडाच्या गाभ्यात २६ प्रोटॉन असतील आणि युरेनियमच्या गाभ्यात ९२ प्रोटॉन असतील.

परंतु, आतापर्यंत माहित असलेली सत्य परिस्थिती या कल्पनेत चपखलपणे बसत नव्हती.

उदाहरणार्थ, हेलियमच्या गाभ्यात +२ असा विद्युतभार होता म्हणजे यात दोन प्रोटॉन असायला हवेत. जर तसे असेल, तर त्याचे वस्तुमान एकच प्रोटॉन असणाऱ्या हायड्रोजनच्या गाभ्याच्या दुप्पट असायला हवे. परंतु हेलियमच्या गाभ्याचे वस्तुमान मोजता येते आणि ते हायड्रोजनच्या गाभ्याच्या वस्तुमानाच्या चौपट भरते. याचा अर्थ, हेलियमच्या गाभ्यातील दोन प्रोटॉनचे वस्तुमान एकूण वस्तुमानाच्या अर्धेच आहे. मग बाकीचा हिशेब कसा लावणार?



एका प्रोटॉनचे वजन १८३६ इलेक्ट्रॉन इतके असते



एक न्यूट्रॉन व एक प्रोटॉन यांचे वजन सारखेच असते

प्रोटॉनचे वस्तुमान आणि अणूचे वस्तुमान यातील फरक, हा +१ हून अधिक विद्युतभार असणाऱ्या सर्वच अणूंच्या बाबत खरा ठरतो. युरेनियमच्या गाभ्यात ९२ प्रोटॉन असतात, पण त्याचे वस्तुमान मात्र हायड्रोजनच्या गाभ्याच्या २३८ पट भरते.

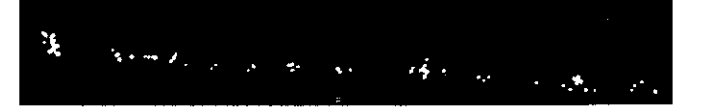
या अधिकच्या वस्तुमानाचा हिशेब लावण्याचे शास्त्रज्ञांनी प्रयत्न केले, पण त्यांना मिळालेल्या कोणत्याच उत्तराने हा प्रश्न सुटला नाही. १९३२ साली जेम्स चॅडविक या इंग्रज शास्त्रज्ञाला अखेर याचे उत्तर सापडले.

प्रोटॉन आणि इलेक्ट्रॉन यांचा प्रवाह शोधण्याचे मार्ग शास्त्रज्ञांनी विकसित केले होते. या कणांमधील विद्युतभारामुळे त्यांच्या भोवती पाण्याचे सूक्ष्म थेंबे जमत असत, 'क्लाऊड चॅम्बर' नावाच्या एका विशेष उपकरणात सूक्ष्म थेंबांच्या मार्गावरून या कणांच्या प्रवाहाची नोंद होत असे.



क्लाऊड चॅम्बरमधून संध प्रोटॉनचा प्रवास

क्लाऊड चॅम्बरमधून जलद प्रोटॉनचा प्रवास



सर जेम्स चॅडविक



२४ । शोधांच्या कथा । अणुशक्ती

बेरिलियम नावाच्या मूलद्रव्याच्या गाभ्यावर अल्फा कणांचा मारा झाल्यावर निर्माण होणाऱ्या किरणोत्सर्गाभोवती मात्र असे दवबिंदू जमत नसत. शास्त्रज्ञांना जरी हा किरणोत्सर्ग दिसून आला नाही तरी तो निर्माण झाला आहे अशी त्यांची खात्री होती; कारण तो मेणावर आदळला असता, मेणातील वेगवेगळ्या गाभ्यातून प्रोटॉन बाहेर पडत असत.

काही तरी त्यांच्या वर आदळल्यामुळे हे प्रोटॉन बाहेर पडत असणार असे चॅडविकचे मत होते. प्रोटॉन हा जाडजूड कण असल्याने, त्यांना बाहेर पाडणारा कणही असाच जाडजूड असणार. परंतु गाभ्यातून प्रोटॉन बाहेर पाडण्यासाठी इलेक्ट्रॉन हे फारच हलके कण होते.

हा जो कोणता नवा कण असेल, त्यात विद्युतभार नसणार, नाहीतर त्याच्याभोवती पाण्याचे सूक्ष्म बिंदू जमले असते आणि त्यामुळे त्याचा पथ सहज दिसला असता. या किरणोत्सर्गातील कण साधारणपणे प्रोटॉन एवढेच असतील पण त्यात विद्युतभार नसेल असे चॅडविकने याचे स्पष्टीकरण दिले. या नव्या कणात घन अथवा ऋण असा कोणताच विद्युतभार नसणार. ते तटस्थ (न्यूट्रल) होते, म्हणून या कणांना त्याने 'न्यूट्रॉन' असेच नाव दिले.

यामुळे अणूच्या गाभ्याचा प्रश्न सोडवला गेला. त्यात प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉन असे दोन्ही प्रकारचे कण असतात. हेलियमच्या गाभ्यात दोन प्रोटॉन आणि दोन न्यूट्रॉन असतात. दोन प्रोटॉनमुळे त्याला +२ असा विद्युतभार मिळतो. दोन प्रोटॉन आणि दोन न्यूट्रॉन एकत्र आल्यामुळे, याचे वस्तुमान हायड्रोजनच्या गाभ्यातील एकुलत्या एक प्रोटॉनच्या चौपट होते.

इतर गाभ्यांबाबतही अशीच परिस्थिती होती. गाभ्यात केवळ एकच प्रोटॉन असणाऱ्या हायड्रोजनचा अपवाद वगळता इतर सर्वात प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉन असे दोन्ही प्रकारचे कण असतात. युरेनियमच्या अणूच्या

शोधांच्या कथा । अणुशक्ती । २५

गाभ्यात ९२ प्रोटॉन आणि १४६ न्यूट्रॉन असतात. त्यातील विद्युतभार +९२ इतका असला, तरी त्याचे वस्तुमान मात्र ९२+१४६, किंवा प्रोटॉनच्या २३८ पट इतके असते.

विशिष्ट मूलद्रव्याच्या प्रत्येक अणूच्या गाभ्यात ठरावीक तेवढेच प्रोटॉन असतात. पण त्याच्या निरनिराळ्या अणूतील न्यूट्रॉनची संख्या मात्र किंचित वेगळी असणे शक्य आहे. उदाहरणार्थ, युरेनियमच्या काही गाभ्यात प्रोटॉन ९२ च असून न्यूट्रॉन १४३ असू शकतात. यातील विद्युतभार +९२ असाच असतो पण त्याचे वस्तुमान मात्र ९२+१४३ किंवा प्रोटॉनच्या २३५ पट असू शकते.

ज्या गाभ्यात प्रोटॉनची संख्या तीच असते पण न्यूट्रॉनची संख्या निराळी असते त्यांना 'आयसोटोप' असे म्हणतात. गाभ्यातील एकूण कणांच्या संख्येवरून त्यांना नाव दिले जाते. ज्या युरेनियमच्या अणूच्या गाभ्यात ९२ प्रोटॉन आणि १४६ न्यूट्रॉन असतात, ते 'युरेनियम २३८'. ज्यात ९२ प्रोटॉन आणि १४३ न्यूट्रॉन असतात ते 'युरेनियम २३५'.

एखाद्या मूलद्रव्याचे आयसोटोप असणे ही नेहमीच, सहजपणे घडणारी घटना नाही. एखाद्या मूलद्रव्याबाबत हे नेहमीच घडत असेल तर दुसऱ्या एखाद्या मूलद्रव्याबाबत असे क्वचितच घडेल. उदाहरणार्थ, युरेनियमचे १००० अणू घेतले, तर त्यातील ९९३ अणू हे युरेनियम २३८ चे असतील आणि केवळ सात असतील युरेनियम २३५ चे.

■



## ३ | अणू ऊर्जा

युरेनियमसारख्या एखाद्या किरणोत्सारी मूलद्रव्याच्या किरणोत्सर्गातून खूप मोठ्या प्रमाणावर ऊर्जा उत्पन्न होते. उदाहरणार्थ, गॅमा किरणात प्रकाशापेक्षा कितीतरी अधिक ऊर्जा असते. अल्फा व बीटा कण सेकंदाला हजारो मैलांच्या गतीने प्रवास करतात त्यामुळे त्यांच्यात प्रचंड प्रमाणात ऊर्जा असते.

किरणोत्सर्गी मूलद्रव्यातून नेमकी किती ऊर्जा निर्माण होते हे ठरवण्याचा सर्वात पहिला प्रयत्न मारी क्युरीचे पती, फ्रेंच शास्त्रज्ञ पियेर क्युरी यांनी केला. १९०१ साली रेडियम नावाच्या किरणोत्सर्गी मूलद्रव्यातून किती ऊर्जा बाहेर पडते हे त्यांनी मोजले. याआधी तीन वर्षेच त्यांनी आणि त्यांच्या पत्नीने मिळून या मूलद्रव्याचा शोध लावला होता.

रेडियम अगदी कमी प्रमाणातच उपलब्ध होते, परंतु त्याच्या मोजमापावरून असे दिसून येत होते की जर एक औंस रेडियम एकत्रित करून एका ठिकाणी ठेवता आला, तर एका तासात त्याच्या कणातील किरणोत्सर्गातून सुमारे ४,००० कॅलरी इतकी ऊर्जा बाहेर पडेल.

एका दृष्टीने पाहता, हे काही फार मोठे प्रमाण नाही. एक औंस पेट्रोल जाळले असता त्यातून ३,२५,००० कॅलरी, किंवा एका तासात रेडियममधून निघणाऱ्या ऊर्जेच्या ८० पट, ऊर्जा निर्माण होते.

पण एकदा तुम्ही तेवढे पेट्रोल जाळलेत, की त्यातून तेवढी ऊर्जा मिळाल्यानंतर आणखी काहीच मिळणार नाही. याउलट, रेडियममधून एका तासात ४००० कॅलरी मिळाल्यानंतरही ही क्रिया तशीच अव्याहत

चालूच राहते.

आणखी एका तासात रेडियम आणखी ४,००० कॅलरी निर्माण करते, त्यानंतरच्या एक तासात आणखी ४,००० कॅलरी आणि हे असे होतच राहते. एक औंस पेट्रोल जाळल्याने जेवढी ऊर्जा मिळते तेवढी यापासून ८० तासात मिळते. ८०० तासात यातून एक औंस पेट्रोलच्या जळणाऱ्याच्या १० पट ऊर्जा मिळेल, ८००० तासात त्याच्या १०० पट आणि ही क्रिया अव्याहत चालूच राहील.

अर्थात, कालांतराने रेडियममधून ऊर्जा मिळण्याचा दर कमी कमी होतो, पण ते अतिशय धीम्या गतीने होते. अखेर मूळ दराच्या तो अर्ध होतो, पण रेडियममधून १,६२० वर्षे ऊर्जा मिळाल्यानंतर ते घडते. रेडियममधून ऊर्जा मिळण्याचे पूर्णपणे थांबेपर्यंत त्यातून तेवढ्याच वजनाच्या पेट्रोलच्या २,५०,००० पट ऊर्जा मिळाली असेल.

ही एवढी सर्व ऊर्जा येते तरी कुठून?

सर्व ऊर्जा कुठून तरी यावी लागते याची शास्त्रज्ञांना १८४० सालापासूनच खात्री पटली होती आणि किरणोत्सर्गाच्या ऊर्जेसंबंधीदेखील ते खरेच होते.

रसायनांच्या संयोगातून निर्माण होणाऱ्या ऊर्जेसंबंधी शास्त्रज्ञांना बरीच माहिती होती. उदाहरणार्थ, जेव्हा लाकूड, कोळसा किंवा पेट्रोल जळते, तेव्हा त्या जळणाऱ्यातील कार्बन आणि हायड्रोजनच्या अणूंचा हवेतील प्राणवायूशी संयोग होतो आणि त्यातून ऊर्जा निर्माण होते. या प्रकारच्या संयोगाला 'रासायनिक प्रक्रिया' असे म्हणतात आणि या प्रकारे निर्माण झालेल्या ऊर्जेला 'रासायनिक ऊर्जा' असे नाव आहे.

अणूंची रचना कशी असते हे एकदा लक्षात आल्यावर, इलेक्ट्रॉन एका अणूकडून दुसऱ्या अणूकडे गेल्यामुळे रासायनिक प्रक्रिया घडते हे शास्त्रज्ञांना कळून चुकले. अणूंच्या काही रचनेतील इलेक्ट्रॉनच्या



मांडणीत बरीच ऊर्जा एकवटलेली असते; तर काहीत ती थोडीच असते. ज्यावेळी जादा ऊर्जा असणारी रचना कमी ऊर्जेच्या रचनेत बदलली जाते त्यावेळी या अधिकच्या ऊर्जेचे काय होते? ती प्रकाश, उष्णता किंवा ऊर्जेच्या इतर स्वरूपात बाहेर पडते.

हे केवळ इलेक्ट्रॉनबाबत घडते. पण अणूच्या गाभ्यातील प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉनच्या बाबत काय घडते? काही प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉनच्या रचनातच मोठ्या प्रमाणावर ऊर्जा एकवटलेली असते. इतर काही रचनात ती कमी प्रमाणात असते. जर अधिक ऊर्जा असणाऱ्या रचनेचे कमी ऊर्जेच्या रचनेत रूपांतर झाले, तर ती अधिकची ऊर्जा बाहेर पडते. अशा वेळी ही ऊर्जा लघू लहरींच्या किरणोत्सर्गाच्या स्वरूपात अथवा अतिजलद कणांच्या स्वरूपात बाहेर पडते.

युरेनियम, थोरियम, रेडियम आणि अशा इतर किरणोत्सर्गी मूलद्रव्यात, त्यातील प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉन यांची फेरमांडणी होताना त्यात कमी ऊर्जा राहिल अशी रचना होते. यालाच 'गाभ्यातील प्रक्रिया' असे म्हणतात. अधिक असलेली ऊर्जा मोकळी होऊन बाहेर पडते आणि त्याला 'गाभ्यातील ऊर्जा' किंवा 'अणू ऊर्जा' असे म्हणतात.

गाभ्यातील प्रोटॉन व न्यूट्रॉन हे इलेक्ट्रॉनपेक्षा बरेच जाडजूड असतात. इलेक्ट्रॉनपेक्षा ते एकमेकांजवळ अधिक घट्टपणे बांधलेले असतात. याचा अर्थ, प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉन यांच्या रचनेतील ऊर्जा ही इलेक्ट्रॉनच्या रचनेतील ऊर्जेपेक्षा बरीच अधिक असते. म्हणूनच पेट्रोलच्या ज्वलनातून निर्माण होणाऱ्या ऊर्जेपेक्षा किरणोत्सारातून प्रचंड प्रमाणावर ऊर्जा निर्माण होते.

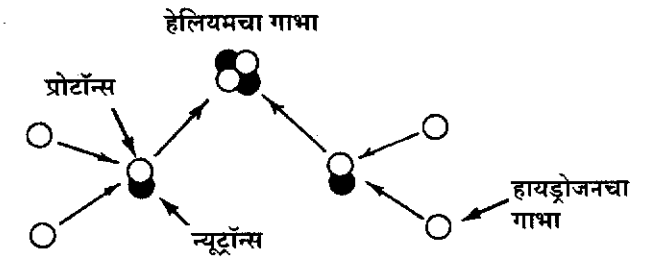
शास्त्रज्ञांनी जेव्हा वेगवेगळ्या प्रकारच्या गाभ्यांचा अभ्यास केला, तेव्हा मध्यम आकाराच्या गाभ्यात सर्वात कमी ऊर्जा असते असे त्यांच्या ध्यानात आले. युरेनियम आणि थोरियमसारख्या अणूंच्या जाडजूड

गाभ्यात खूपच अधिक ऊर्जा असते. जर त्यांचे थोड्याफार कमी ऊर्जा असणाऱ्या, थोड्याशा लहान गाभ्यात रूपांतर झाले, तर त्यांच्यात सुरवातीला असणारी अधिकची ऊर्जा किरणोत्सर्ग आणि जलद कणांच्या स्वरूपात बाहेर पडते.

त्याच प्रकारे, थोड्या मोठ्या गाभ्याचे जर लहान गाभ्यात रूपांतर झाले, तर लहान गाभ्यात कमी ऊर्जा साठवली जाते, म्हणून परत त्यातील जादा ऊर्जा किरणोत्सर्ग आणि जलद कणांच्या स्वरूपात बाहेर पडेल.

सूर्यातून सर्व दिशांना मोठ्या प्रमाणात ऊर्जा बाहेर पडते आणि ते अब्जावधी वर्षांपासून होतच आहे. ही ऊर्जा येते कुठून? शास्त्रज्ञांना या प्रश्नाचे जवळजवळ शंभर वर्षांपर्यंत कोडे पडले होते त्याचे अशा तऱ्हेने उत्तर मिळाले. सुरवातीला या प्रश्नाचे समाधानकारक उत्तर मिळतच नव्हते.

सूर्य मुख्यतः हायड्रोजनचा बनला आहे असे खगोलशास्त्रज्ञांनी शोधून काढलेच होते. हॅन्स अॅल्ब्रेश्ट बेथ्यू या जर्मन-अमेरिकन शास्त्रज्ञाने १९३८ साली असे दाखवून दिले की प्रत्येकी एक प्रोटॉन असलेले



हायड्रोजनच्या एकीकरणातून हेलियमची निर्मिती

हायड्रोजनचे चार गाभे आपली रचना बदलून दोन प्रोटॉन आणि दोन न्यूट्रॉन असणारा हेलियमचा एक गाभा बनवू शकतात. यामुळे ऊर्जा बाहेर पडते. सूर्य इतक्या काळापर्यंत प्रकाशत राहण्याचे हे स्पष्टीकरण आहे. हे अणूच्या गाभ्यातील ऊर्जेमुळेच शक्य झाले आहे.

अर्थात, एकदा शास्त्रज्ञांना अणुऊर्जेचा शोध लागल्यावर आणि अणूच्या गाभ्यात किती प्रचंड प्रमाणात ऊर्जा साठवलेली आहे हे लक्षात आल्यावर, आपल्याला आपल्या गरजांसाठी याचा कसा उपयोग करून घेता येईल याचा ते विचार करू लागले. लाकूड, कोळसा आणि खनिज तेलाच्या ज्वलनात, इलेक्ट्रॉनच्या वहनातून निर्माण होणारी रासायनिक ऊर्जा लोक हजारो वर्षांपासून वापरतच होते. मग आता प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉनच्या वहनातून निर्माण होणारी ऊर्जा वापरण्यास सुरुवात करता येईल का?

आपण जेव्हा काही कार्य करण्यासाठी ऊर्जा वापरतो, तेव्हा तिला 'शक्ती' असे म्हणतात. म्हणून आता मानवप्राणी अणुशक्तीचा उपयोग करू शकेल का, असा प्रश्न निर्माण झाला.

जरी पुष्कळ अणुशक्ती उपलब्ध असली तरी ती खूप संधपणे बाहेर पडते. युरेनियम आणि थोरियम ही सर्वसामान्य किरणोत्सर्गी मूलद्रव्ये आहेत आणि त्यातील ऊर्जा बाहेर पडण्यास अब्जावधी वर्षे लागतात.

शिवाय ही ऊर्जा जलद बाहेर काढण्याचा मार्ग शोधणे शास्त्रज्ञांसाठी सोपे नाही. रासायनिक प्रक्रियेची गती वाढवणे सोपे असते. आगपेटीची एखादी काडी पेटेपर्यंत जळताना दिसत नाही, पण त्या काडीतील रसायने आणि हवेतील प्राणवायूचे संधगतीने संयुग बनत असते. आणि एकदा का खडबडीत पृष्ठभागावर घासून या संयुगाच्या प्रक्रियेची गती वाढली की काडी पेट घेते. नायट्रोग्लिसरिन एखाद्या बाटलीत ठेवलेले असते तेव्हा काहीच होत नाही, पण त्यावर आघात केला की एकदम स्फोटच होतो.



इलेक्ट्रॉन हे अणूच्या बाहेरच्या भागात असतात म्हणून हे घडवणे सोपे होते. उष्णता, आघात किंवा इतर काही बदल त्यांच्यापर्यंत सहजपणे पोचतात आणि त्यांचा एका अणूकडून दुसऱ्या अणूकडे जाण्याचा वेग वाढून ही प्रक्रिया जलदगतीने घडू शकते.

याउलट, गाभा मात्र अणूच्या केंद्रस्थानी खोलवर दडलेला असतो. त्यांच्यापर्यंत पोचणे इतके सहज सोपे नसते. उदाहरणार्थ, युरेनियम तापवण्याने, आघात करण्याने अथवा इतर काही कारणाने त्याच्या रासायनिक प्रक्रियेची गती वाढवून, किरणोत्सर्गाची गती वाढवता येत नाही. युरेनियम आपल्या संधगतीनेच ऊर्जा निर्माण करत राहतो- त्याच्या संध- गतीमुळे 'शक्ती' म्हणून त्याचा आपल्याला उपयोग होऊ शकत नाही.

यासाठी अणूच्या बाहेरच्या, इलेक्ट्रॉन असणाऱ्या, भागातून जाऊन जे थेट केंद्रस्थानी असलेल्या गाभ्यावर आघात करू शकेल, असे काहीतरी मिळणे आवश्यक आहे.

सुरुवातीला केवळ परमाणू (सब-ॲटॉमिक कण) हे काम करू शकतील असे शास्त्रज्ञांना माहीत होते. निरनिराळ्या किरणोत्सर्गी पदार्थातून बाहेर पडणारे अल्फा कण हे सर्वाधिक परिणामकारी होते. ते इतके जबरदस्त असतात की जणू काही इलेक्ट्रॉन तिथे नाहीतच अशा तऱ्हेने ते त्यांना पार करू शकतात.

जर अल्फा कण गाभ्यावर आदळला तर काय होईल?



## ४ | अणूच्या गाभ्यातील प्रक्रिया

अणूच्या गाभ्यावर अल्फा कणांचा मुद्दाम मारा करणारा रदरफोर्ड हा पहिलाच शास्त्रज्ञ होता. १९१९ साली नत्रवायुच्या (नायट्रोजन) कुपीवर त्याने अल्फा कणांचा मारा केला. अधूनमधून त्यात त्याला वेगाने जाणारे प्रोटॉन दिसत. ते कुठून आले?

अधूनमधून अल्फा कण नत्रवायुच्या गाभ्यावर आदळत असत आणि त्यातून प्रोटॉन जोराने बाहेर पडे. नत्रवायुच्या उरलेल्या गाभ्याला अल्फा कण चिकटून राही. नत्रवायुच्या गाभ्यात सुरुवातीला सात प्रोटॉन असतात. त्यातील एक कमी होई पण त्याऐवजी त्याला दोन अल्फा कण मिळत. म्हणजे त्यात आठ प्रोटॉन राहत आणि तो प्राणवायुचा गाभा बने.

ही अणूच्या गाभ्यातील पहिली मनुष्यनिर्मित प्रक्रिया होती. एखाद्या मूलद्रव्यातून दुसरे मूलद्रव्य बनण्याची ही पहिलीच वेळ होती.

रदरफोर्डने जेव्हा अल्फा कणांचा दुसऱ्या मूलद्रव्यांवर मारा केला तेव्हाही अणूच्या गाभ्यात प्रक्रिया झाली.

परंतु किरणोत्सारी मूलद्रव्यातून बाहेर पडणाऱ्या अल्फा कणात काही विशिष्ट प्रमाणातच ऊर्जा असते. ते कोणत्याही गाभ्यावर ठरावीक अशा शक्तीनेच आदळू शकतात आणि त्याने फक्त काही थोड्याच प्रक्रिया घडू शकतात.

परमाणूची गती वाढवण्याचे आणि त्यांचा मारा अधिक जोरदार करण्याचे मार्ग शोधण्याचा शास्त्रज्ञांनी प्रयत्न सुरू केला.

शास्त्रज्ञांनी जेव्हा हायड्रोजनचे तापमान वाढवले तेव्हा प्रत्येक अणूतील एकुलता एक इलेक्ट्रॉन बाहेर पडून अणूच्या गाभ्यात केवळ

## अर्नेस्ट रदरफोर्ड



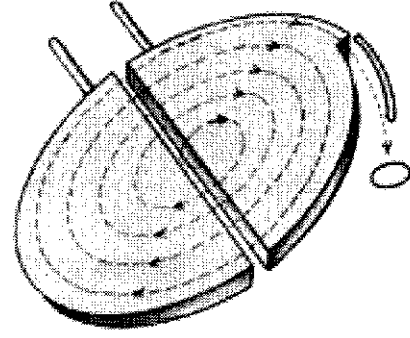
एकच प्रोटॉन शिलुक राहत असे. मग या प्रोटॉनवर चुंबकाचा प्रभाव पाडता येत असे. काळजीपूर्वक तयार केलेल्या यंत्राद्वारे प्रोटॉन चुंबकाकडे आकर्षिला जाऊन त्याची गती बरीच वाढत असे. अखेर त्या प्रोटॉनमध्ये प्रचंड अशी ऊर्जा जमा झाली की तो या यंत्रातून वेगाने बाहेर पडून अणूच्या गाभ्यावर आदळे, आणि त्यातील प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉनची मांडणी बदलण्यास कारणीभूत होत असे.

१९२९ साली इंग्रज शास्त्रज्ञ जॉन डग्लस कॉक्रॉफ्ट आणि त्यांचा आयरिश साथीदार शास्त्रज्ञ अर्नेस्ट थॉमस सिंटन वॉल्टन या दोघांनी मिळून असे 'अणुभंजक' (अॅटम स्मॅशर) सर्वप्रथम बनवले. १९३१ साली अति जलदगतीने जाणाऱ्या प्रोटॉनचा वापर करून लिथियम नावाच्या हलक्या वजनाच्या मूलद्रव्याच्या अणूचा गाभा फोडण्यात त्यांना यश आले.

इतर शास्त्रज्ञांनी निरनिराळ्या प्रकारचे अणुभंजक तयार केले. अर्नेस्ट ओर्लंडो लॉरेन्स या अमेरिकन शास्त्रज्ञाने बनवलेला अणुभंजक सर्वाधिक यशस्वी ठरला. १९३० साली त्याने पहिला 'सायक्लोट्रॉन' तयार केला.

हा सायक्लोट्रॉन अशा तऱ्हेने बनवला होता की चुंबकाच्या सहाय्याने प्रोटॉन हळूहळू मोठ्या होत जाणाऱ्या वर्तुळात फिरत. या वर्तुळात फिरता फिरता त्यांची गती वाढत असे आणि ते सायक्लोट्रॉनच्या बाहेर पडण्याच्या क्षणाशी येईपर्यंत त्यात प्रचंड प्रमाणात ऊर्जा एकवटलेली असे.

१९३० च्या दशकात शास्त्रज्ञ निरनिराळ्या अणूंच्या गाभ्यांवर अधिकाधिक शक्तिशाली प्रोटॉनचा मारा करत राहिले. त्यातून अणूंच्या गाभ्यात अनेकविध प्रक्रिया होत गेल्या. प्रोटॉन आणि न्यूट्रॉनची मांडणी बदलत राहून, त्यावरून अणूचा गाभा कसा बनलेला असतो याविषयी त्यांना बरेच ज्ञान मिळवता आले.



सायक्लोट्रॉन

शास्त्रज्ञांना जरी अणूच्या गाभ्याविषयी बरीच माहिती मिळाली असली, तरी अणुशक्तीचा वापर कसा काय करून घ्यावा याबद्दल त्यांना अजून काहीच उमजले नव्हते. त्यांनी घडवून आणलेल्या प्रक्रियेतून थोडीफार ऊर्जा निर्माण होत होती पण ती फारच थोडी होती. महत्त्वाची गोष्ट म्हणजे प्रोटॉनची गती वाढवण्यासाठी मात्र त्यांना खूपच ऊर्जा वापरावी लागत होती. शिवाय त्यापैकी फारच थोडे प्रोटॉन प्रत्यक्षात गाभ्यावर आदळत होते. बरेचसे प्रोटॉन केवळ जलदगतीने फिरत राहून कशावरच आदळत नव्हते आणि त्यांची शक्ती वायाच जात होती.

याचा परिणाम असा होता की अणुभंजन करणारे शास्त्रज्ञ प्रचंड प्रमाणावर विद्युत आणि चुंबकीय शक्ती वापरून थोडीशीच अणू ऊर्जा निर्माण करत होते.

रदरफोर्ड १९३७ साली मरण पावला, त्यावेळीदेखील अणुशक्तीचा वापर कसा करावा हे शास्त्रज्ञांना कधीच कळणार नाही अशी त्याची खात्री होती. अणूच्या प्रक्रियेतून त्यांना जेवढी ऊर्जा मिळेल त्यापेक्षा कितीतरी अधिक ऊर्जा ती मिळण्यासाठीच खर्ची पडेल असे त्याचे मत होते.

अल्फा कण आणि प्रोटॉन या दोन्हीत धन (पॉझिटिव्ह) विद्युतभार असतो ही यातील पहिली अडचण होती. अणूच्या गाभ्यातही धन विद्युतभारच असतो. दोन धन विद्युतभार एकमेकांना दूर लोटतात. एखादा अल्फा कण किंवा प्रोटॉन गाभ्याजवळ येतो तेव्हा तो या कारणाने थोडासा दूर ढकलला जातो. म्हणून तो फार कमी वेळा गाभ्यावर आपटतो.

मग न्यूट्रॉनचा वापर करायला काय हरकत आहे? त्यात विद्युतभार नसतो, त्यामुळे गाभ्याकडून तो दूर ढकलला जाणार नाही. परंतु अणूच्या गाभ्यात प्रक्रिया घडवून आणण्याएवढी शक्ती त्यात असेल का?

चुंबकाच्या सहाय्याने विद्युतभार खेचून घेण्यामुळे प्रोटॉनची गती वाढवली जाते. पण न्यूट्रॉनमध्ये विद्युतभार नसल्याने तो खेचला जाऊन त्याची गती वाढवता येणे शक्य नाही.

१९३४ साली एन्रिको फेर्मी या इटालियन शास्त्रज्ञाने असा विचार केला की न्यूट्रॉनची गती वाढवण्याची गरजच नाही. न्यूट्रॉनमध्ये थोडीशीच शक्ती आहे आणि ते आपल्या संधगतीने फिरत राहिले अशी कल्पना करा. ते जरी योगायोगाने योग्य दिशेने जात राहिले, तरीही त्यातील एखादा तरी न्यूट्रॉन अणूच्या गाभ्यापर्यंत पोचेल आणि त्यात वितळून जाईल. गाभ्यातील धन विद्युतभारामुळे न्यूट्रॉन दूर फेकला जाणार नाही.

या नव्या न्यूट्रॉनमुळे गाभ्यातील आधीची प्रोटॉन-न्यूट्रॉनची रचना बिघडेल आणि परिणामी नवी रचना बनण्यास सुरुवात होईल.

फेर्मीने मग गाभ्यावर संथ अशा न्यूट्रॉनचा मारा करायला सुरुवात केली. बऱ्याच वेळा न्यूट्रॉन गाभ्यात शोषला गेला, आणि जी नवी रचना बनली त्यात न्यूट्रॉनचे रूपांतर झाले होते असे त्याच्या ध्यानात आले. मग अणूच्या गाभ्यात सुरुवातीला होते त्याहून एक प्रोटॉन अधिक असे. हे एक नवेच मूलद्रव्य असे आणि त्याच्या अणूचा क्रमांक

## एन्रिको फेर्मी



पहिल्याहून एक अधिक असे.

उदाहरणार्थ, न्होडियम, या अणुक्रमांक ४५ असणाऱ्या मूलद्रव्याच्या अणूच्या गाभ्यावर फेर्मीने न्यूट्रॉनचा मारा केला, आणि त्याला पलेडियम हे ४६ हा अणुक्रमांक असणारे मूलद्रव्य मिळाले. आणखी एक उदाहरण म्हणजे, अणुक्रमांक ४९ असणाऱ्या इंडियमचे, ५० हा अणुक्रमांक असणाऱ्या कथिलात रूपांतर झाले.

त्याकाळी, ९२ हा सर्वाधिक अणुक्रमांक असणारे मूलद्रव्य म्हणजे युरेनियम होते. युरेनियमवर न्यूट्रॉनचा मारा करून ९३ हा अणुक्रमांक असणारे एक नवेच मूलद्रव्य बनवता येईल का याचा फेर्मी विचार करू लागला. निसर्गात या क्रमांकाचे मूलद्रव्य माहीत नव्हते, म्हणजे मग फेर्मीने एक नवेच मूलद्रव्य तयार केले असेल.

फेर्मीने युरेनियमवर संथ न्यूट्रॉनचा मारा केला आणि त्यातून कोणत्या प्रकारचा किरणोत्सर्ग निघतो हे पडताळून पाहण्याचा त्याने प्रयत्न केला. प्रत्येक प्रकारचा किरणोत्सर्ग आणि त्या प्रत्येकात असणारी ऊर्जा यांचा अभ्यास करून कोणत्या प्रकारचा गाभा बनला आहे हे शास्त्रज्ञ बहुधा सांगू शकत.

९३ क्रमांकाचे नवे मूलद्रव्य बनले असावे असा फेर्मीचा कयास होता, पण किरणोत्सर्गाचे निकाल गोंधळात टाकणारे होते म्हणून त्याची खात्री होत नव्हती.

इतरांनीही हा प्रश्न सोडवण्याचा प्रयत्न केला. त्यापैकी एक होते, ओटो हॉन हा जर्मन शास्त्रज्ञ आणि लिझ माइट्नेर ही त्याची ऑस्ट्रियन साथीदार.

कदाचित, युरेनियमच्या अणूत एका परमाणूची भर पडण्याऐवजी एक परमाणू कमी होत असेल का अशी त्यांना शंका आली. समजा त्यातून दोन अल्फा कण बाहेर पडत असतील. जर दोन अल्फा कण

(म्हणजे एकूण चार प्रोटॉन) जर युरेनियम ९२ मधून बाहेर पडले असतील, तर ८८ हा अणुक्रमांक असणारे रेडियम मागे उरले असेल.

रेडियम अतिशय सूक्ष्म अशा परिमाणातच शिल्लक असणार. ते आहे की नाही हे कसे शोधणार?

एक मार्ग म्हणजे बेरियम नावाच्या दुसऱ्या एका मूलद्रव्याचा उपयोग करणे. बेरियमचा अणुक्रमांक ५६ आहे, पण त्याचे रासायनिक गुणधर्म बरेचसे रेडियमसारखेच आहेत. बेरियमबाबत जे घडेल तेच रेडियमबाबतही घडेल.

१९३८ साली हॉन आणि माइट्नेर यांनी युरेनियममध्ये बेरियम मिसळले आणि नंतर ते परत काढून घेतले. बेरियम काढण्यासाठी केलेल्या प्रक्रियेने त्यातील रेडियमही बाहेर निघेल; म्हणजेच, रेडियममुळे होणारा किरणोत्सर्गही बाहेर निघेल, असा हॉन आणि माइट्नेर यांचा कयास होता.

आणि घडलेही तसेच. जेव्हा बेरियम बाहेर निघाले तेव्हा किरणोत्सर्गही त्याबरोबरच बाहेर पडला. आता आपला सिद्धांत योग्यच होता आणि युरेनियममधून रेडियमच बनले होते याबद्दल त्या दोघांची खात्री झाली.

त्यानंतर, ज्यामुळे रेडियम आणि बेरियम वेगळे होतील अशी रासायनिक पद्धत वापरून किरणोत्सर्ग निराळा करण्याचा त्यांनी प्रयत्न केला. यात मात्र त्यांना अपयश आले. कितीही प्रयत्न केला, काहीही केले, तरी बेरियममधील किरणोत्सर्ग मात्र टिकून राहिला.

त्यानंतर त्यांच्या कार्यात बाधा येईल अशी एक घटना घडली. जर्मनीवर त्या काळी अॅडॉल्फ हिटलरचे राज्य होते आणि तो ज्यू लोकांना कामावरून काढून टाकत होता व इतरही मार्गांनी त्यांची छळणूक करत होता. लिझ माइट्नेर ज्यू होती पण ती ऑस्ट्रियाची होती म्हणून

काही काळ ती सुरक्षित होती. मार्च १९३८ मध्ये हिटलरने आपले सैन्य ऑस्ट्रियात पाठवून तो देशही पादाक्रांत केला. आता माइट्नेर सुरक्षित नव्हती. तिने देश सोडला आणि ती स्वीडनला गेली.

स्वीडनमध्ये तिने आपण हॉनबरोबर करत असलेल्या संशोधनाचा विचार सुरू केला आणि त्यांनी मिळवलेल्या बेरियममध्ये रेडियमचा काही अंश असेल का अशी तिला शंका आली. कदाचित हे केवळ बेरियमच असेल. कदाचित युरेनियमवर न्यूट्रॉनचा मारा केल्यावर, एक विशेष प्रकारचे किरणोत्सर्गी बेरियम तयार झाले असेल. युरेनियममध्ये मिसळलेल्या पहिल्या साध्या बेरियमबरोबर हे नवे बेरियमदेखील बाहेर पडले असेल, आणि त्यानंतर मात्र हे दोन्ही वेगळे करणे अशक्य होत असणार.

परंतु ९२ असा अणुक्रमांक असणाऱ्या युरेनियमपासून ५६ अणुक्रमांक असणारे बेरियम कसे काय बनेल?

अणूच्या गाभ्यातून बाहेर पडणारा सर्वात मोठा कण, म्हणजे अल्फा कण, आणि त्याचा अणुक्रमांक आहे २. बेरियम बनण्यासाठी युरेनियमच्या अणूच्या एका गाभ्यातून १८ अल्फा कण फुटून बाहेर पडावे लागतील, आणि तसे घडले असण्याची काहीच चिन्हे दिसत नव्हती.

कदाचित एका झटक्यातच बेरियम बनले असेल का अशी माइट्नेरला शंका आली. समजा, न्यूट्रॉनमुळे युरेनियमच्या गाभ्याचे दोन तुकडे होऊन, बेरियम आणि इतरही काही मूलद्रव्यांचे नवे, छोटे गाभे तयार झाले असतील. अशा तऱ्हेच्या विभाजनाला काही वेळा 'फिशन' (विभाजन) म्हणतात, म्हणजे, माइट्नेर 'युरेनियमच्या विभाजना'चा विचार करत होती. माइट्नेरने, आपला भाचा ऑटो रॉबर्ट फ्रिश् याच्यासह युरेनियमच्या विभाजनाबद्दलच्या आपल्या कल्पना लिहून जाहीर केल्या.

नील भोर



त्या जानेवारी १९३९ मध्ये छापण्यात आल्या. त्या छापण्यापूर्वी फ्रिशनने नील भोर या डॅनिश शास्त्रज्ञाशी याविषयी चर्चा केली.

भोर त्यावेळी अणूचा गाभा आणि अणूच्या गाभ्यातील प्रक्रिया यात स्वारस्य असणाऱ्या शास्त्रज्ञांच्या एका परिषदेसाठी अमेरिकेला निघाला होता. त्याने ही कल्पना परिषदेत सांगताक्षणीच सर्व शास्त्रज्ञ आपापल्या प्रयोगशाळेत ही कल्पना पडताळून पाहण्यासाठी परिषद सोडून ताबडतोब निघून गेले.

विभाजनाची शक्यता गृहीत धरून, युरेनियमवर न्यूट्रॉन आदळल्यावर काय होते याचा अभ्यास केल्यावर, नेमके तेच घडले असणार हे त्यांच्या लक्षात आले.

युरेनियमच्या गाभ्यावर न्यूट्रॉन आदळला की गाभ्याचे दोन भाग म्हणजे विभाजन होते- आणि यातून प्रचंड प्रमाणात ऊर्जा बाहेर पडते.





## ५ | अणुभट्ट्या

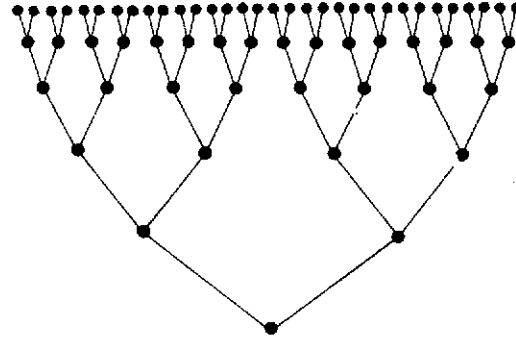
लिओ झीलार्ड या हंगेरीच्या शास्त्रज्ञानेही युरेनियमच्या अणूच्या विभाजनाची बातमी ऐकली. युरेनियमच्या अणूचे विभाजन होऊन त्यातून दोन किंवा तीन न्यूट्रॉन निर्माण होतात असे त्याच्या लक्षात आले.

युरेनियमचा अणू फुटून त्यातून दोन न्यूट्रॉन निर्माण झाले आणि दोन्ही न्यूट्रॉन युरेनियमच्या अणूवर आदळले अशी कल्पना करा. युरेनियमचे दोन अणू फुटून एकूण चार न्यूट्रॉन तयार होतील. त्याने युरेनियमचे चार अणू फुटून आठ न्यूट्रॉन तयार होतील आणि असे होतच राहील.

विभाजन होणारा युरेनियमचा प्रत्येक अणू अधिकाधिक अणूंचे मोठ्या संख्येने विभाजन करील. ही प्रत्येक प्रक्रिया दुसरी प्रक्रिया सुरू करेल आणि अशी एक साखळीच तयार होईल. ही एक 'साखळी प्रक्रिया' असेल.

एका मोठ्या कागदाचा कोपरा जर काडीने पेटवला, तर रासायनिक ऊर्जेच्याबाबत हेच घडते. कागदाच्या ज्वलनातून निर्माण होणाऱ्या उष्णतेने आजूबाजूचा कागदही जळू लागतो आणि अखेर संपूर्ण कागदाला आग लागते. संपूर्ण कागदाच्या ज्वलनातून निर्माण होणारी उष्णता ही सुरुवातीच्या पेटलेल्या काडीच्या उष्णतेहून खूपच अधिक असते.

त्याच प्रकारे, युरेनियमच्या फुटणाऱ्या प्रत्येक अणूतून थोडीशी उष्णता निर्माण होईल. जसजसे आणखी अणू फुटत राहतील तशी ही ऊर्जा वाढत जाईल. सुरुवातीच्या एका न्यूट्रॉनमध्ये जेवढी ऊर्जा होती त्यापेक्षा कितीतरी अधिक ऊर्जा या विभाजनातून निर्माण होईल.



साखळी प्रतिक्रिया

अर्थात, युरेनियमच्या अणूच्या फुटण्याशी अणुऊर्जेचा संबंध येतो. कागदाच्या ज्वलनातील रासायनिक साखळी प्रक्रियेपेक्षा आण्विक साखळी प्रक्रियेचा वेग खूपच अधिक असतो. कागदाच्या ज्वलनातून निर्माण होणाऱ्या ऊर्जेपेक्षा युरेनियमच्या अणूच्या विभाजनातून निर्माण होणारी ऊर्जा ही कितीतरी पटींनी अधिक असते.

युरेनियमच्या अणूच्या विभाजनामुळे अखेर लोकांना अणुऊर्जा वापरता येईल, अशी चिन्हे दिसू लागली. ती निर्माण करण्यासाठी जेवढी ऊर्जा लागत होती निदान त्याहून तरी अधिक ऊर्जा मिळणे शक्य होते; रदरफोर्डच्या कल्पनेत तर तेही शक्य नव्हते.

परंतु विभाजनातून मिळणारी शक्ती धोकादायक असू शकते. एका विशिष्ट परिमाणाच्या युरेनियमचे विभाजन केल्यास त्यातून इतकी ऊर्जा उत्पन्न होईल की त्याचा स्फोट होईल, असे झीलार्डचे मत होते. इतकेच नव्हे तर थोड्याशा युरेनियमचा स्फोट हा नेहमीच्या हजारो टन रासायनिक स्फोटकांच्या स्फोटाहूनही खूप मोठा असेल.

या विचाराने तो अस्वस्थ झाला. हिटलरच्या छळवादांमुळे झीलार्ड युरोप सोडून निघून गेला होता, आणि हिटलर लवकरच युद्ध सुरू करेल अशी त्याला खात्री वाटत होती. जर्मन शास्त्रज्ञांनी जर असा 'अणूच्या विभाजनाचा बॉम्ब' तयार केला तर? (अशा बॉम्बला आता 'अणुबॉम्ब' असेही म्हणतात.)

हिटलरच्या हाती जर असे एखादे शस्त्र लागले, तर युद्ध जिंकण्यासाठी तो नक्कीच त्याचा उपयोग करेल. मग संबंध जगच अशा क्रूर आणि अन्याय्य सरकारच्या आधिपत्याखाली येईल.

म्हणून, अमेरिकेने प्रथम असा अणुबॉम्ब बनवणे फार महत्त्वाचे आहे असे झीलार्डला वाटले.

त्या काळी आल्बर्ट आइनस्टाईन हा जगातील सर्वात प्रसिद्ध शास्त्रज्ञ

होता. त्यानेही जर्मनीतून पळ काढला होता व तो देखील अमेरिकेत राहत होता. त्याने अमेरिकेच्या राष्ट्राध्यक्षांना - फ्रँक्लिन डिलानो रूझवेल्ट यांना - एक पत्र लिहून परिस्थिती विशद करावी यासाठी झीलार्ड आणि इतरांनी त्याचे मन वळवले. २ ऑगस्ट १९३९ रोजी हे पत्र पाठवण्यात आले; एका महिन्याने युरोपमध्ये दुसरे जागतिक युद्ध सुरू झाले.

६ डिसेंबर १९४१ रोजी अमेरिकेचे अध्यक्ष रूझवेल्ट यांनी अखेर अणूच्या विभाजनाचा बॉम्ब विकसित करण्यासाठी मोठ्या प्रमाणावर प्रयत्न

लिओ झीलार्ड



करण्याचे आदेश दिले. त्याच्या दुसऱ्याच दिवशी जपानने पर्ल बंदरावर हल्ला केला आणि अमेरिकेचा दुसऱ्या जागतिक युद्धात प्रवेश झाला.

अमेरिकेतील आणि इतरही देशातील अनेक शास्त्रज्ञांनी युरेनियम गोळा करून त्यातून साखळी प्रतिक्रिया सुरू करण्याचे मार्ग शोधण्यास सुरुवात केली. अर्थात नियंत्रित करता येईल अशीच साखळी प्रतिक्रिया त्यांना हवी होती. कॅडमियम नावाच्या धातूत न्यूट्रॉन सुरक्षितपणे शोषले जातात, म्हणून मोठ्या प्रमाणातील न्यूट्रॉनमुळे फार मोठ्या प्रमाणावर युरेनियमच्या अणूंचे विभाजन केले जाऊ नये, यासाठी युरेनियममध्ये कॅडमियमच्या कांड्या ठेवण्यात आल्या.

न्यूट्रॉनमुळे युरेनियम-२३८ चे विभाजन होत नाही; तर युरेनियम-२३५ या क्वचित आढळणाऱ्या युरेनियमच्या आयसोटोपचे विभाजन होते असा शोध लागला. हे दोन आयसोटोप वेगळे करण्याचे आणि युरेनियम-२३५ अधिक प्रमाणात असणारे युरेनियम तयार करण्याचे मार्ग शोधण्यात आले.

दरम्यानच्या काळात, फेरमिनी ज्या प्रकारची बराच जाडजूड गाभा असणारी नवी मूलद्रव्ये बनवण्याचा प्रयत्न काही वर्षांपूर्वी केला होता, तशी मूलद्रव्येही बनवण्यात आली. ९३ क्रमांकाच्या मूलद्रव्याला 'नेप्ट्युनियम' तर ९४ क्रमांकाच्या मूलद्रव्याला 'प्लुटोनियम' अशी नावे देण्यात आली. प्लुटोनियमचेही विभाजन होऊ शकते असे दिसून आले.

आता फेरमिनीही इटली सोडली होती आणि अणूच्या विभाजनाची साखळी प्रक्रिया सुरू करण्यासाठी संशोधन करणाऱ्या अमेरिकेतील शास्त्रज्ञांच्या चमूचा तो प्रमुख बनला. २ डिसेंबर १९४२ ला त्यांना यश आले. अणूच्या विभाजनाच्या साखळी प्रक्रियेतून नियंत्रित पद्धतीने ऊर्जा देणारी पहिली अणुभट्टी शिकागोत कार्यान्वित झाली.

जे. रॉबर्ट ओपेनहाइमर यांच्या नेतृत्वाखालील शास्त्रज्ञांच्या चमूने पुढील

काही वर्षे अणू विभाजनाचा बॉम्ब तयार करण्यासाठी पुरेसे युरेनियम-२३५ आणि प्लुटोनियम एकत्रित करण्यासाठी संशोधन केले. १६ जुलै १९४५ रोजी न्यू मेक्सिकोतील अलामोगोर्डो या ठिकाणी अणूच्या विभाजनाच्या बॉम्बची पहिली चाचणी झाली. हा स्फोट प्रचंड होता.

आणखी दोन बॉम्ब तयार करण्यात आले. त्या वेळेपर्यंत जर्मनीने हार मानली होती, पण जपान अजून लढत होता. ६ ऑगस्ट १९४५ रोजी जपानमधील हिरोशिमा या शहरावर एक बॉम्ब टाकण्यात आला आणि त्यानंतर दोन दिवसांनी दुसरा बॉम्ब नागासाकीवर टाकण्यात आला. जपानी

जे. रॉबर्ट ओपेनहाइमर



सरकारने हार मानली आणि दुसरे जागतिक युद्ध संपुष्टात आले.

अर्थात, अणूच्या विभाजनाचा उपयोग केवळ बॉम्ब बनवण्यासाठीच करावा लागतो असे नाही. जर हे विभाजन नियंत्रित असेल तर ही ऊर्जा स्फोटाशिवायही मिळू शकते. शिकागोमधील पहिल्या अणुभट्टीखेरीजही अधिक कार्यक्षम आणि उपयोगी अशा अनेक लहान अणुभट्ट्या बनवण्याचा शास्त्रज्ञांनी प्रयत्न केला.

१९५४ साली यु.एस.एस. नॉटिलस नावाची एक नवी पाणबुडी नौका तयार करण्यात आली. तिच्यावर बांधलेल्या अणुभट्टीतून तिला आवश्यक ती सर्व ऊर्जा मिळत असे. पारंपरिक पाणबुड्यांना आपल्या बॅटऱ्या चार्ज करून घेण्यासाठी वरचेवर पृष्ठभागावर यावे लागते, पण अणुऊर्जेवर चालणाऱ्या पाणबुड्या एकावेळी अनेक महिने पाण्याखाली राहू शकतात.

शांततेच्या काळातील उपयोगासाठी देखील अणुभट्ट्या बांधण्यात येऊ लागल्या. १९५४ साली सोव्हिएट रशियाने अशी एक लहान अणुभट्टी बांधली, मग ब्रिटिशांनी त्याहून एक मोठी अणुभट्टी तयार केली. १९५८ साली अमेरिकेने पेनसिल्व्हानिया राज्यातील शिपिंगपोर्ट या ठिकाणी एक त्याहून मोठी अणुभट्टी पूर्ण केली.

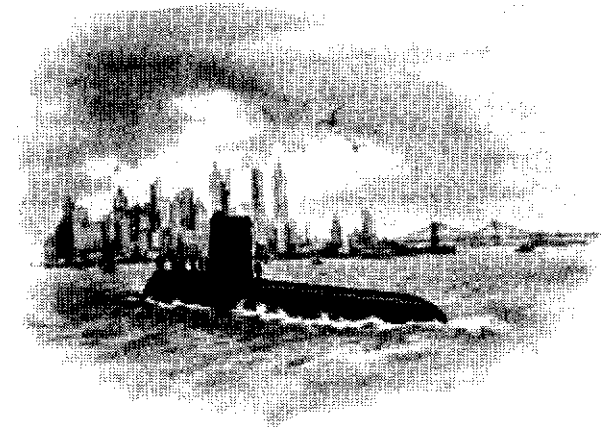
१९५० च्या दशकात जेव्हा अणुऊर्जेचा वापर प्रथम सुरू झाला, तेव्हा हा ऊर्जेचा एक खूपच मोठा स्रोत ठरेल, अशी लोकांना आशा होती. परंतु, यात काही अडचणी होत्या.

एक म्हणजे, जगात युरेनियम-२३५ चा पुरेसा साठा नव्हता. एकदा हे युरेनियम-२३५ संपले की तोच अणुऊर्जेचा शेवट ठरेल का?

परंतु अणुभट्टीभोवती नेहमीचे युरेनियम किंवा थोरियम लावणे शक्य होते असा शास्त्रज्ञांना शोध लागला. अणुभट्टीतील प्रक्रियेतील काही न्यूट्रॉनमुळे युरेनियम आणि थोरियमच्या अणूच्या गाभ्यामध्ये जे बदल

घडून येतात त्यामुळे त्यांच्या गाभ्याचेही विभाजन होऊ शकते. अशा तऱ्हेने जेवढे वापरले गेले होते त्यापेक्षा अधिक जळण अणुभट्टीत तयार होऊ शकते. अशा जळणाचे पुनरुत्पादन करणाऱ्या (ब्रीडर रिअॅक्टर) अणुभट्टीत केवळ युरेनियम-२३५ ऐवजी सर्व युरेनियम आणि थोरियमचा वापर करता येतो. अशा प्रकारच्या अणुभट्ट्यांमुळे मानवजातीला शेकडो, हजारो वर्षांपर्यंत अणुऊर्जा मिळू शकेल.

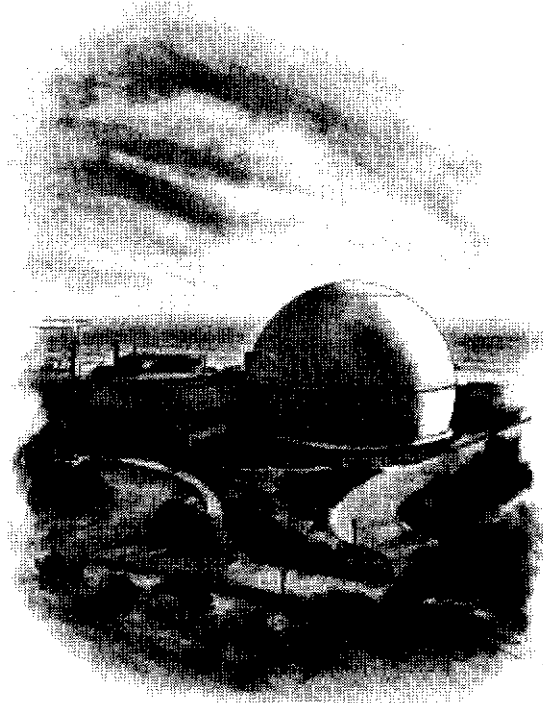
तथापि यात एक धोका होता. अशा तऱ्हेच्या अणुभट्ट्यात प्लुटोनियम वापरला जातो आणि हा जगातील सर्वाधिक धोकादायक पदार्थ आहे. यातून जी किरणोत्सर्गी संयुगे बनतात ती अतिशय धोकादायक असतात; इतकेच नव्हे, तर ती हजारो वर्षांपर्यंत धोकादायकच असतात. यांचा योग्य तो निचरा करण्याचे सुरक्षित मार्ग उपलब्ध नाहीत आणि अणुभट्टीतील एखाद्या अपघातामुळे ती शेकडो चौरस मैलांच्या परिसरात पसरू शकतात.



यु. एस.एस. नॉटिलस

१९७० च्या दशकाच्या सुमारास, अणूच्या विभाजनातून मिळणारी शक्ती वापरण्यास सुरक्षित आहे का याबद्दल अधिकाधिक लोकांना शंका येऊ लागली. कदाचित त्याऐवजी इतर मार्गांनी मिळणारी ऊर्जा वापरणे अधिक श्रेयस्कर ठरेल.

आणखी एका प्रकारची अणुशक्ती आहे. मूलद्रव्यांच्या यादीतील दुसऱ्या टोकाकडील मूलद्रव्यांपासून सुरवात करायला काय हरकत आहे? सूर्यात जसे घडते त्याप्रमाणे हायड्रोजनच्या अणूच्या गाभ्यापासून



सॅन क्लिमेंट, कॅलिफोर्नियातील अणुभट्टी

हेलियमचा गाभा का बनवू नये?

अणूचे अनेक छोटे गाभे एकत्रित करून त्यापासून एक मोठा गाभा तयार करण्याच्या प्रक्रियेला 'गाभ्याचे एकत्रीकरण' (न्युक्लीयर फ्यूजन) असे म्हणतात. त्याच वजनाच्या इंधनापासून 'विभाजना'च्या प्रक्रियेपेक्षा 'एकत्रीकरणा'च्या प्रक्रियेतून कितीतरी अधिक ऊर्जा मिळते. विशेष महत्त्वाचे म्हणजे, एकत्रीकरणासाठी आवश्यक इंधन म्हणजे हायड्रोजन हे विभाजनासाठी वापरण्यात येणाऱ्या इतर मूलद्रव्यांपेक्षा सहज, सर्वत्र उपलब्ध आहे. शिवाय, एकत्रीकरणातून विभाजनापेक्षा खूपच कमी प्रमाणात किरणोत्सर्ग निर्माण होतो, म्हणून एकत्रीकरण अधिक सुरक्षित आहे.

परंतू हायड्रोजनच्या अणूच्या गाभ्याचे एकत्रीकरण करणे तितकेसे सोपे नाही. एकत्रीकरण होण्यासाठी तापमान अब्जावधी अंशापर्यंत असावे लागते.

इतके उच्च तापमान मिळण्यासाठी अणू विभाजनाच्या बॉम्बचा उपयोग करणे हा एक मार्ग होऊ शकतो. जर अणुबॉम्बचा अशा तऱ्हेने स्फोट घडवता आला की त्यामुळे हायड्रोजनच्या गाभ्याचे एकत्रीकरण होण्याची सुरवात होईल, तर जो स्फोट घडेल तो अणुबॉम्बपेक्षा प्रचंड प्रमाणात मोठा असेल.

अशा खूप मोठ्या बॉम्बला 'हायड्रोजन बॉम्ब' असे म्हणतात. यालाच 'अणूच्या एकत्रीकरणाचा बॉम्ब' असेही म्हणता येते.

प्रशांत महासागरातील मार्शल बेटांवर १९५२ साली अमेरिकेने अशा तऱ्हेच्या पहिल्या 'एकत्रीकरण बॉम्ब'चा स्फोट केला. परिणामी, १९४५ सालच्या अणुबॉम्बपेक्षा हजारां पटींनी अधिक शक्तीशाली असे हायड्रोजन बॉम्ब तयार करण्यात आले. सुदैवाने आतापर्यंत अशा बॉम्बचा युद्धात वापर करण्यात आला नाही.

पण नियंत्रित पद्धतीने अणूचे एकत्रीकरण करता येईल का? हायड्रोजनचे तापमान अब्जावधी अंशापर्यंत वाढवून त्याचे लहान प्रमाणात एकत्रीकरण करता येईल का? स्फोट न घडता यातून ऊर्जा मिळवता येईल का?

अमेरिकेतील आणि इतर देशातील शास्त्रज्ञ यासाठी गेल्या तीस वर्षांहून अधिक वर्षे प्रयत्न करत आहेत परंतु अजून कोणालाच यात यश मिळालेले नाही. तरीही त्यांची या दिशेने प्रगति चालूच आहे.

एकत्रीकरणासाठी ते 'ड्युटिरियम' नावाच्या एका वेगळ्या प्रकारच्या हायड्रोजनचा वापर करत आहेत. ड्युटिरियमच्या अणूच्या गाभ्यात, नेहमीच्या हायड्रोजनच्या प्रमाणे केवळ एक प्रोटॉन असण्याऐवजी, एक प्रोटॉन आणि एक न्युट्रॉन असतो.

ड्युटिरियमचा गाभा अति उच्च तापमानापर्यंत तापवून, शक्तीशाली चुंबकीय यंत्रणांच्या वापराने त्यांना एका जागी जखडून ठेवण्यात यश आले आहे. अद्याप तरी शास्त्रज्ञांना ड्युटिरियम पुरेसे तापवण्यात, आणि एकत्रीकरणाची सुरवात होण्यासाठी पुरेसा वेळ एका जागी ठेवण्यात यश आलेले नाही.

केव्हातरी शास्त्रज्ञांना ते ही करता येईल. एकदा का ते घडले की ऊर्जेचा खूप मोठा स्रोत वापरासाठी उपलब्ध होईल. तो सुरक्षित असावा लागेल- निदान विभाजनापेक्षातरी बराच सुरक्षित- आणि तो आपल्याला कोट्यावधी वर्षांपर्यंत पुरेल.

केवळ एका शतकात आपण खूपच दूरवरचा पल्ला गाठला आहे. कॅथोड किरण म्हणजे काय असतील याचा शास्त्रज्ञ शंभर वर्षांपूर्वी विचार करत होते. आता ते पृथ्वीवर एका चिमुकल्या सूर्याची निर्मिती करण्याचा प्रयत्न करत आहेत, असा सूर्य की जो जगातल्या लोकांचे काम करेल.

